

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2003-234699
(P2003-234699A)

(43)公開日 平成15年8月22日(2003.8.22)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I
H 0 3 M 13/43
H 0 4 B 9/00

テマコト(参考)
5J065
3 5K102

審査請求 未請求 請求項の数11 OL (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2002-186634(P2002-186634)
(22)出願日 平成14年6月26日(2002.6.26)
(31)優先権主張番号 特願2001-371150(P2001-371150)
(32)優先日 平成13年12月5日(2001.12.5)
(33)優先権主張国 日本(JP)

(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 富沢 将人
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(72) 発明者 平野 章
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100072718
弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

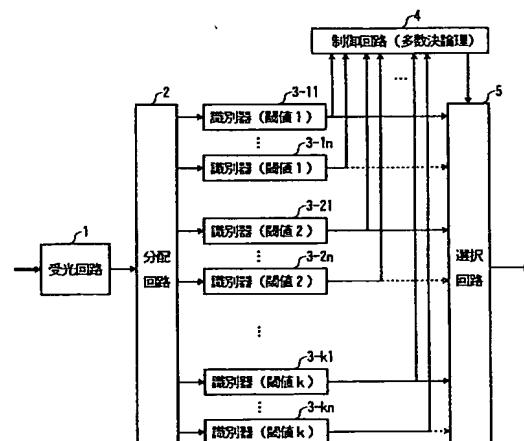
(54) [発明の名称] ディジタル伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 雜音に制限された系と、フェージングに制限された系のいずれにも適用でき、しかも伝送ビットレートを上昇させずに高品質な伝送を可能とする。

【解決手段】 ディジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送されたディジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたディジタル伝送システムにおいて、受信装置は、同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組($n \times k$ 個)の識別器と、受信信号を各識別器に分配する分配回路と、各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するように選択回路を制御する制御回路とを備える。

本発明の第1の実施形態



	識別器1	識別器2	識別器3	
識別1	1	1	1	この中の1つを選択
識別2	1	1	1	
識別3	1	1	1	
識別4	1	0	1	
識別5	0	0	0	

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送された前記ディジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたディジタル伝送システムにおいて、前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組($n \times k$ 個)の識別器と、

受信信号を前記各識別器に分配する分配回路と、

前記各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項2】 ディジタルデータ光信号を送信する送信装置と、光伝送路を介して伝送された前記ディジタルデータ光信号を受光し、その電気信号と所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたディジタル伝送システムにおいて、前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組($n \times k$ 個)の識別器と、

前記電気信号を前記各識別器に分配する分配回路と、

前記各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項3】 ディジタルデータ光信号を送信する送信装置と、光伝送路を介して伝送された前記ディジタルデータ光信号を受光し、その電気信号と所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたディジタル伝送システムにおいて、前記受信装置は、

同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組($n \times k$ 個)の識別器と、

前記ディジタルデータ光信号をn系列に分配する光分配回路と、

n系列に分配された光信号をそれぞれ受光するn系列の受光回路と、

前記光分配回路または前記各受光回路の少なくとも一方の前段で光信号を增幅する光増幅器と、

前記n系列の受光回路から出力される電気信号をそれぞれ閾値の異なるk組の識別器に分配するn系列の分配回路と、

前記各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択

回路と、

前記各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する制御回路とを備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項4】 請求項3に記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記光分配回路に代えて、前記ディジタルデータ光信号の光周波数を変換して複数の光周波数の光信号を出力する光周波数変換回路と、複数の光周波数の光信号を各光周波数ごとに分波して前記各受光回路に入力させる光分波器とを備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項5】 請求項3に記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の周波数モードの光パルスをディジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の周波

20 数モードの光パルス信号を分離して前記各受光回路に入力させる光分波器を備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項6】 請求項3に記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の光周波数の連続光をディジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、

前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の光周波数の光変調信号を分離して前記各受光回路に入力させる光分波器を備えたことを特徴とするディジタル伝送シ

30 ステム。

【請求項7】 請求項3に記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、複数の偏波モードの光をディジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、

前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、複数の偏波モードの光変調信号を偏波ごとに分離して前記各受光回路に入力させる光偏波分離器を備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項8】 請求項3に記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置は、連続光あるいは光パルスをディジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、

前記受信装置は、前記光分配回路に代えて、受信する光変調信号の光スペクトルを2分割分離して前記各受光回路に入力させる光サイドバンド分離器を備えたことを特徴とするディジタル伝送システム。

【請求項9】 請求項1～3のいずれかに記載のディジタル伝送システムにおいて、

前記識別器として、同じ閾値を有しかつ閾値が標準より高め(または低め)に設定された1組(n個)の識別器

を備え、

さらに、論理1（または論理0）の信号を前記選択回路に入力する固定電圧発生器を備え、

前記制御回路は、前記n個の識別器の識別結果に論理1（または論理0）が含まれていれば、前記固定電圧発生器の出力信号を選択するように前記選択回路を制御し、前記n個の識別器の識別結果に論理1（または論理0）が含まれていなければ、その1つの識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する構成であることを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項10】 請求項1～3のいずれかに記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記識別器として、閾値が標準およびそれより高めおよび低めに設定された3個の識別器を備え、

前記選択回路には、閾値が標準より高めに設定された識別器の出力および標準に設定された識別器の出力が接続され、

前記制御回路は、閾値が標準より高めおよび低めに設定された識別器の識別結果の一方が論理1であれば、閾値が標準に設定された識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御し、両方ともに論理1または論理0であれば、閾値が標準より高めに設定された識別器の識別結果を選択するように前記選択回路を制御する構成であることを特徴とするデジタル伝送システム。

【請求項11】 請求項1～3のいずれかに記載のデジタル伝送システムにおいて、

前記送信装置から前記受信装置に、デジタルデータ信号またはデジタルデータ光信号が複数の伝送路を介して伝送される構成であり、

前記受信装置は、前記複数の伝送を介して伝送された信号の遅延時間差をそろえる遅延回路を備え、各伝送路からの信号を前記複数の識別器に分配する構成であることを特徴とするデジタル伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、デジタル信号（電気信号、光信号）の伝送を行うデジタル伝送システムに関する。特に、伝送ビットレートを上昇させることなく高品質な伝送を可能とするデジタル伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバを用いた伝送システムでは、单一波長で40Gbit/sの伝送容量の実現が可能になっている。このような伝送システムで通常用いられている伝送方式は、IM-DD（Intensity Modulation - Direct Detection）と呼ばれる最もシンプルな方式である。この方式では、送信機は光強度をデジタル信号の0と1に従ってオン／オフ変調し、受信機は光電変換により光強度を電気信号に変換し、識別器で所定の閾値に基づいて0か1かの判定を行うことにより信号を再生する。

ここで、識別器に設定する閾値は通常固定して運用されるが、その閾値の決定に当たっては光ファイバ伝送路に接続しない状態で最適化する方法と、光ファイバ伝送路に接続した状態で最適化する方法がある。ただし、商用システムなどでは、適用範囲が広いために前者の方法が採用されている。

【0003】 ところで、光伝送システムの受信機の識別器では、光ファイバの波長分散や光増幅器の自然放出光雑音などにより、0と1の誤識別、すなわちビット誤りが発生する。このビット誤りは、40Gbit/sの高速伝送になると伝送距離を制限する要因になるので、その対策が必要になっている。その対策としては大きく分けて2つあるが、第1は誤り訂正（FEC: Forward Error Correction）であり、第2は閾値フィードバック等化（DFE: Decision Feedback Equalization）である。なお、広く用いられている誤り訂正技術（ITU-T recommendation G.975）では、識別器の閾値は固定されている。

【0004】 受信側で誤り訂正を行うには、まず送信側で伝送情報に所定の演算処理を行い、その結果得られる冗長ビットを附加して送信する。したがって、通常はビットレートが増加する。受信側では、受信信号に所定の演算処理を行い、その結果と伝送されてきた冗長ビットを比較して誤り位置を検出し、排他的論理和で訂正する。

【0005】 一方、このようなバースト誤りに対処する方法として、閾値フィードバック等化法が提案されている（F. Buchali et al., "Adaptive decision feedback equalizer for 10Gbit/s dispersion mitigation", ECOC'00, 5.2.5）。この方法には、識別再生された信号の符号誤り率（BER）などを測定し、それが最小になるように識別器の閾値を可変制御する構成と、それぞれ異なる閾値が設定された複数の識別器の中から最適な識別器を選択する構成がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 誤り訂正（FEC）の問題点は、伝送信号のビットレートが上昇することである。例えば、海底伝送システムで現在検討されているスーパーFEC（ここでは接続FEC符号を例とする）では、7%の符号と12.5%の符号を縦属に接続し、合計22%の冗長符号を作り出している（O. A. Sab, "FEC techniques in submarine transmission systems", OFC'01, TuF-1）。しかし、40Gbit/sなどの高速伝送になると、ビットレートは40Gbit/s程度にもなり、電子回路の速度マージンを圧迫する可能性が出てくる。また、2つの符号化回路の間にはビット伝送順序を攪拌するインターリーブ回路が用いられ、回路規模が増大する。さらに、反復復号技術を用いるので、復号化遅延が無視できなくなる。

【0007】 このようにFECは、伝送信号のビットレ

ートと符号化ゲイン（誤り訂正能力）がトレードオフの関係にあり、最小限のビットレートの上昇で最大限の符号化ゲインを得る方法が求められている。また、FECは、ランダムな誤りには効果を発揮するが、バースト誤りにはあまり効果がない。例えば、偏波モード分散などのフェージング現象におけるゆっくりした変化では、符号語の中の大半のビットが誤ることが想定されるが、この場合には誤り訂正が困難になる（M. Tomizawa et al., "FEC performance in PMD-limited high-speed optical transmission systems", ECOC'00, 5.2.4）。

【0008】一方、閾値フィードバック等化（DFE）の問題点は、フィードバック制御回路を用いた構成であるので、処理時間がかかり、速い変化に追随できないことがある。例えば、可変識別器の出力結果（あるいは複数の識別器の選択出力結果）の符号誤り率などを測定し、最適な閾値を設定（選択）するためには、数～数百ビット相当の制御時間が必要になる。したがって、DFEはフェージングには効果があるが、雑音などのビットごとに相関のないランダム誤りには効果的でない。

【0009】なお、以上の説明は光伝送システムについてのものであるが、一般に有線または無線の電気のデジタル信号伝送でも同様である。

【0010】本発明は、FECとDFEのそれぞれの問題点を補完し、雑音に制限された系と、フェージングに制限された系のいずれにも適用でき、しかも伝送ビットレートを上昇させずに高品質な伝送を可能とするデジタル伝送システムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、デジタルデータ信号を送信する送信装置と、伝送路を介して伝送されたデジタルデータ信号を受信し、所定の閾値と比較して識別再生を行う受信装置とを備えたデジタル伝送システムにおいて、受信装置は、同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組（n×k個）の識別器と、受信信号を各識別器に分配する分配回路と、各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するよう選択回路を制御する制御回路とを備える（請求項1）。

【0012】また、光信号を伝送し、受信装置で電気信号に変換して処理する構成においても同様である（請求項2）。また、受信装置は、同じ閾値を有する複数n個の識別器を1組として互いに閾値の異なるk組（n×k個）の識別器と、デジタルデータ光信号をn系列に分配する光分配回路と、n系列に分配された光信号をそれぞれ受光するn系列の受光回路と、光分配回路または各受光回路の少なくとも一方の前段で光信号を増幅する光増幅器と、n系列の受光回路から出力される電気信号をそれぞれ閾値の異なるk組の識別器に分配するn系列の

分配回路と、各識別器の識別結果の1つを選択して出力する選択回路と、各識別器の識別結果を入力し、各組ごとにn個の識別器で識別結果が同じになる組を選択し、その1つの組の1つの識別器の識別結果を選択するよう選択回路を制御する制御回路とを備える構成としてもよい（請求項3）。

【0013】また、請求項3の構成の光分配回路に代えて、デジタルデータ光信号の光周波数を変換して複数の光周波数の光信号を出力する光周波数変換回路と、複数の光周波数の光信号を各光周波数ごとに分波して各受光回路に入力させる光分波器とを備えてもよい（請求項4）。

【0014】また、請求項3の構成において、送信装置は、複数の周波数モードの光パルスをデジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の周波数モードの光パルス信号を分離して各受光回路に入力させる光分波器とを備えてもよい（請求項5）。

【0015】また、請求項3の構成において、送信装置は、複数の光周波数の連続光をデジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の光周波数の光変調信号を分離して各受光回路に入力させる光分波器を備えてもよい（請求項6）。

【0016】また、請求項3の構成において、送信装置は、複数の偏波モードの光をデジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、複数の偏波モードの光変調信号を偏波ごとに分離して各受光回路に入力させる光偏波分離器を備えてもよい（請求項7）。

【0017】また、請求項3の構成において、送信装置は、連続光あるいは光パルスをデジタルデータ信号により変調して送信する構成であり、受信装置は、光分配回路に代えて、受信する光変調信号の光スペクトルを2分割分離して各受光回路に入力させる光サイドバンド分離器を備えてもよい（請求項8）。

【0018】また、識別器として、同じ閾値を有しかつ閾値が標準より高め（または低め）に設定された1組（n個）の識別器を備え、さらに、論理1（または論理0）の信号を選択回路に入力する固定電圧発生器を備え、制御回路は、n個の識別器の識別結果に論理1（または論理0）が含まれていれば、固定電圧発生器の出力信号を選択するよう選択回路を制御し、n個の識別器の識別結果に論理1（または論理0）が含まれていなければ、その1つの識別器の識別結果を選択するよう選択回路を制御する構成としてもよい（請求項9）。

【0019】また、識別器として、閾値が標準およびそれより高めおよび低めに設定された3個の識別器を備え、選択回路には、閾値が標準より高めに設定された識別器の出力および標準に設定された識別器の出力が接続

され、制御回路は、閾値が標準より高めおよび低めに設定された識別器の識別結果の一方が論理1であれば、閾値が標準に設定された識別器の識別結果を選択するよう選択回路を制御し、両方ともに論理1または論理0であれば、閾値が標準より高めに設定された識別器の識別結果を選択するよう選択回路を制御する構成としてもよい（請求項10）。

【0020】また、送信装置から受信装置に、デジタルデータ信号またはデジタルデータ光信号が複数の伝送路を介して伝送される構成であり、受信装置は、複数の伝送路を介して伝送された信号の遅延時間差をそろえる遅延回路を備え、各伝送路からの信号を複数の識別器に分配する構成としてもよい（請求項11）。

【0021】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）図1は、本発明の第1の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0022】図において、光信号は受光回路1で電気信号に変換され、その電気信号が分配回路2で複数系列に分配され、閾値1の識別器3-11～3-1n、閾値2の識別器3-21～3-2n、…、閾値kの識別器3-k1～3-knにそれぞれ入力される。すなわち、同じ閾値のn個の識別器を1組とすると、k組の識別器に分配される。分配数は、同じ閾値を有する識別器の数nと、閾値の種類kの積（n×k）となる。各識別器の識別結果は、制御回路4に入力されるとともに、各組の少なくとも1つの識別器の識別結果が選択回路5に入力される。制御回路4は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0023】本実施形態では、光伝送路におけるS/N劣化およびフェージングなどの波形劣化が生じた信号が各識別器に入力され、さらに各識別器における雑音が互いに独立に付加される。したがって、各識別器ではこの雑音付加により、同じ閾値に対するn個の識別結果がすべて同じ値（1または0）を示す組や、n個の識別結果のうちいくつかが異なる値を示す組が生じる。制御回路4は、各識別器の識別結果を入力し、同じ閾値に対するn個の識別結果がすべて同じ値（論理1または0）を示し、かつ論理1を示す組と論理0を示す組の多い方の組を選択する。例えば、k組中、論理1を示す組が論理0を示す組よりも多ければ、論理1を示す組の1つを選択し、さらにその組のn個の識別器のうちの1つの識別結果を選択する。この制御回路4の論理は、一番確度の高い識別結果を得るための「多数決論理」と言える。

【0024】制御回路4の多数決論理の一例を図1に示す。ここでは、5種類の閾値に対して、それぞれ3つの識別器があるものとする。閾値1、2、3では3つの識

別結果が論理1、閾値4では2つの識別結果が論理1、1つの識別結果が論理0、閾値5では3つの識別結果が論理0とする。この例では、識別結果として論理1を出力する閾値1、2、3のいずれかの識別器の出力が選択される。これによりビット誤り特性が改善される。

【0025】ところで、以上の多数決論理でもビット誤りが生じるケースとして、①k組の識別器について、n個の識別結果がすべて同じ値になる組が存在せず、どれかを出力した場合、②各識別器がすべて同様に誤る場合がある。ここで、最適固定閾値におけるビット誤り率をpとし、異なるk種類の閾値に対するビット誤り率をp1、p2、…、pkとすると、①の確率はp1・p2・…・pkがnk通りあり、②の確率はある閾値のビット誤り率pjを用いてpj^nと表され、これが閾値分だけある。したがって、誤りが下流に伝搬する確率Peは

【0026】

【数1】

$$Pe = \sum_{j=1}^k p_j^n + n^k \prod_{i=1}^k p_i$$

【0027】と表される。例えばn=k=2の場合、またp1=p2=5pと仮定すると、

$$Pe = 150 p^2$$

となる。したがって、p=10^-6の場合はPe=1.5×10^-10となり、十分に誤り訂正効果があることがわかる。この誤り訂正効果を見積もると、図2のようになる。ここで、最適識別点に固定された選択動作のない受信装置で、FECもない構成の場合の誤り率10^-12におけるQ値と、本発明あるいは本発明とFECを併用した場合の誤り率10^-12におけるQ値とのdB差を「利得」と定義すると、本発明における受信装置ではビットレートの上昇が0で利得2.3dBとなり、本発明とFECを併用した受信装置ではビットレートの上昇が7%で利得7.5dBが得られる。

【0028】（第2の実施形態）図3は、本発明の第2の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0029】図において、光信号は光増幅器11-0で増幅され、光分配回路（光カプラ）12で複数n系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器11-1～11-nで増幅され、受光回路1-1～1-nで電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、さらに分配回路2-1～2-nでそれぞれ複数k系列に分配される。ここで、分配回路2-1の分配出力は、閾値1の識別器3-11、閾値2の識別器3-21、…、閾値kの識別器3-k1に入力され、以下同様に、分配回路2-nの分配出力は、閾値1の識別器3-1n、閾値2の識別器3-2n、…、閾値kの識別器3-knに入力

される。各識別器の識別結果は、制御回路4および選択回路5に入力される。制御回路4は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0030】本実施形態では、同じ閾値を有する各組のn個の識別器には、n系列の光増幅器および受光回路を通過した信号が入力され、それらの独立した雑音と識別器の雑音を含めて、第1の実施形態と同様の「多数決論理」で1つの識別結果を選択することができる。

【0031】なお、光信号のビット誤り率特性は、受信装置（光増幅器）の入力前のS/N比でほぼ決定され、一旦増幅された後に分岐数分の損失があってもほとんどビット誤り率特性には影響しないことが知られている（石尾他、「光増幅器とその応用」（オーム社））。一方、光伝送システムでは、光増幅器と受光回路の雑音が支配的であることが知られている。したがって、光増幅器および受光回路の雑音も独立事象として扱うことができる本実施形態の構成は、無中継長距離伝送システムの高品質な伝送に寄与することができる。

【0032】（第3の実施形態）図4は、本発明の第3の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。

【0033】図において、光信号は光増幅器11-1で増幅され、光周波数変換回路（例えば非線形効果を用いた波長変換素子）13で光周波数変換される。ここでは、光周波数faの光信号に対して、光周波数faとfbの光信号に変換されるものとする。この2つの光周波数の光信号は光増幅器11-2で増幅され、光分波器

（光周波数分離フィルタ）14で各光周波数の光信号に分波される。分波された各光信号はそれぞれ受光回路1-1、1-2で電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、さらに分配回路2-1、2-2でそれぞれ2系列に分配される。ここで、分配回路2-1の分配出力は、閾値1の識別器3-11、閾値2の識別器3-21に入力され、分配回路2-2の分配出力は、閾値1の識別器3-12、閾値2の識別器3-22に入力される。各識別器の識別結果は、制御回路4および選択回路5に入力される。制御回路4は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0034】本実施形態では、同じ閾値を有する2つの識別器には、異なる光周波数の光信号に対して受光回路の雑音が付加された電気信号が入力され、第2の実施形態と同様にそれらの独立した雑音と識別器の雑音を含めて、第1の実施形態と同様の「多数決論理」で1つの識別結果を選択することができる。

【0035】（第4の実施形態）図5は、本発明の第4の実施形態を示す。本実施形態は、送信装置側に特徴があり、受信装置は第3の実施形態から光周波数変換回路を除いた構成で対応することができる。

【0036】図において、光送信機は、複数の光周波数の光パルス、例えば互いに光位相が反転するキャリア抑圧RZパルスを出力する2モード光パルス発生回路21と、光変調器22と、光増幅器23により構成される。光変調器22はデータ信号により変調し、2つのモードからなるRZパルス（CS-RZ（Carrier Suppressed Return-to-Zero）符号、またはDCS-RZ（Duobinary Carrier SuppressedReturn-to-Zero）符号）の光信号を出力する。

【0037】受信装置の光分波器14はSSB分離を行う構成であり、2つのモードからなるRZパルス（CS-RZ符号またはDCS-RZ符号）を分離し、2つのNRZ信号またはデュオバイナリ信号とする。以下第3の実施形態と同様に、それぞれ受光回路1-1、1-2で電気信号に変換され、分配回路2-1、2-2を介してそれぞれ対応する識別器3-11～3-22に入力され、第1の実施形態と同様の「多数決論理」で1つの識別結果を選択する。

【0038】本実施形態では、2つの周波数モードの光は独立であり、光伝送路中のすべての光中継器から受けた雑音は、モード間で相關のないランダム雑音になることを利用している。これにより、2つのモードに対応する光信号を異なる閾値の識別器で識別して「多数決論理」で1つを選択することにより、光中継器からの雑音によるビット誤りも訂正することができる。

【0039】（第5の実施形態）第4の実施形態の光送信機では、2モード光パルス発生回路21から出力される2つの異なる光周波数の光パルスを、光変調器22でデータ信号により変調する構成を示したが、2つの異なる光周波数の連続光をデータ信号により変調する構成としてもよい。この第5の実施形態における連続光発生回路としては、発振波長の異なる2つのレーザ光源を用いてもよいし、2つのサイドモード発生回路を用いてもよい。受信装置は、図5に示す第4の実施形態のもので対応することができる。なお、第4の実施形態では、光パルスの位相とデータ信号による変調位相を制御する必要があるが、本実施形態の構成では位相制御の必要はない。

【0040】（第6の実施形態）図6は、本発明の第6の実施形態を示す。本実施形態は、第4の実施形態の光送信機の2モード光パルス発生回路21に代えて2偏波モード光発生回路24を用い、受信装置の光分波器14に代えて光偏波分離器25を用いる。

【0041】2偏波モード光発生回路24は、2つの偏波モードの連続光または光パルスを発生する。光偏波分離器25は、2つの偏波モードの光信号を偏波ごとに分離し、以下第3の実施形態と同様に、それぞれ受光回路1-1、1-2で電気信号に変換され、分配回路2-1、2-2を介してそれぞれ対応する識別器3-11～3-22に入力され、第1の実施形態と同様の「多数決

論理」で1つの識別結果を選択する。

【0042】なお、偏波に依存した波形劣化の原因として、偏波モード分散（PMD）、偏波依存ロス（PDL）などがあるが、本実施形態による構成では偏波に依存した波形劣化などに対して受信特性を改善することができる。

【0043】（第7の実施形態）図7は、本発明の第7の実施形態を示す。本実施形態は、第4の実施形態または第5の実施形態のような2つの光周波数またはモードを用いない構成を特徴とする。

【0044】図において、光送信機は、光発生回路26から出力される連続光または光パルスを光変調器22でデータ信号により変調して送信する。この構成は、通常のNRZまたはRZの送信装置の構成と同様であり、第4の実施形態または第5の実施形態と比べて周波数利用効率を高めることができる。

【0045】受信装置の光サイドバンド分離器27は、通常のNRZまたはRZスペクトルの側帯波を切り出し、2つのモードに分離する。以下第3の実施形態と同様に、それぞれ受光回路1-1, 1-2で電気信号に変換され、分配回路2-1, 2-2を介してそれぞれ対応する識別器3-11～3-22に入力され、第1の実施形態と同様の「多数決論理」で1つの識別結果を選択する。受光回路1-1, 1-2は、シングルサイドバンド受信器あるいはペスティジアルサイドバンド受信器を用いることができる（参考文献：S. Bigo et al., Dig. OFC2001, PD25, 2001）。

【0046】（第8の実施形態）図8は、本発明の第8の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0047】図において、光信号は光増幅器11-0で増幅され、光分配回路（光カプラ）12で2系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器11-1, 11-2で増幅され、受光回路1-1, 1-2で電気信号に変換される。それぞれの電気信号は、標準の閾値より高めに設定された閾値Hの識別器3-11および識別器3-12に入力される。各識別器の識別結果は、制御回路4に入力されるとともに、その一方（ここでは識別器3-11の出力）が選択回路5に入力される。また、選択回路5には、固定電圧発生器15から論理1の信号が入力される。制御回路4は、各識別器の識別結果に基づいて選択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果または固定電圧発生器15の出力を選択して出力する。

【0048】例えば図8に示すように、論理0の受信信号が識別器に入力されると、各識別器の閾値が標準より高く設定されているので、多少の雑音が付加されたとしても2つの識別結果は論理0となる確率が高い。このと

き、制御回路4は、識別器3-11の識別結果（論理0）を選択するように選択回路5を制御する（図中丸印）。

【0049】一方、論理1の受信信号が識別器に入力されると、雑音の付加により2つの識別結果がともに論理1または一方が論理1となる確率が高い。したがって、少なくとも一方の識別結果が論理1であれば、受信信号が論理1の信号であると判断し、固定電圧発生器15の出力（論理1）を選択する。これにより、雑音成分のない論理1の信号を出力することができる。

【0050】なお、制御回路4における以上の判定は、論理和回路により実現することができる。また、2つの識別結果がともに論理1になる場合には、ともに論理0になる場合と同様に、識別器3-11の識別結果（論理1）を選択するようにしてもよい。この場合には、制御回路4は排他的論理和回路により実現することができる。これは、識別器の数が3以上になる場合にも同様に適用できる。また、識別器3-11, 3-12の閾値を標準より低めに設定した場合には、上記の論理を反転させることにより同様に対応することができる。

【0051】さらに、本実施形態では、論理1を出力する固定電圧発生器15を用いた例を示したが、論理0を出力する固定電圧発生器を加え、2つの識別結果がともに論理0になる場合には、この固定電圧発生器の出力（論理0）を選択するようにしてもよい。これにより、論理0についても雑音成分のない信号を出力することができる。この場合の制御回路は、2つの識別結果の少なくとも一方が論理1であるか、ともに論理0であるかに応じて、受信信号が論理1か論理0かを判定するものであり、その判定に基づいて固定電圧発生器からの論理1または論理0の信号を選択する。

【0052】（第9の実施形態）図9は、本発明の第9の実施形態を示す。なお、送信装置側の構成は従来と同様であり、ここでは受信装置側の構成例を示す。また、光伝送システムにおける受信装置を例に説明するが、それに限るものではない。

【0053】図において、光信号は光増幅器11-0で増幅され、光分配回路（光カプラ）12で2系列に分配される。分配された各光信号はそれぞれ光増幅器11-1, 11-2で増幅され、受光回路1-1, 1-2で電気信号に変換される。受光回路1-1から出力される電気信号は、さらに分配回路2-1で2系統に分配され、それぞれ標準の閾値より高めに設定された閾値Hの識別器3-11と、標準より低めに設定された閾値Lの識別器3-12に入力される。また、受光回路1-2から出力される電気信号は、標準の閾値Mに設定された識別器3-13に入力される。各識別器の識別結果は制御回路4に入力されるとともに、識別器3-11および識別器3-13の出力が選択回路5に入力される。制御回路4は、識別器3-11, 3-12の識別結果に基づいて選

13

択回路5を制御し、1つの識別器の識別結果を選択して出力する。

【0054】例えば図9に示すように、論理0の受信信号が閾値Hの識別器3-11および閾値Lの識別器3-12に入力されると、雑音の付加により2つの識別結果がともに論理0または閾値Lの識別器3-12の識別結果が論理1となる確率が高い。したがって、識別結果がともに論理0であれば、閾値Hの識別器3-11の識別結果(論理0)を選択するように選択回路5を制御する。また、閾値Lの識別器3-12の識別結果が論理1であれば、閾値Mの識別器3-13に判定を委ね、その判定結果を選択するように選択回路5を制御する。

【0055】一方、論理1の受信信号が閾値Hの識別器3-11および閾値Lの識別器3-12に入力されると、雑音の付加により2つの識別結果がともに論理1または閾値Hの識別器3-11の識別結果が論理0となる確率が高い。したがって、識別結果がともに論理1であれば、閾値Hの識別器3-11の識別結果(論理1)を選択するように選択回路5を制御する。また、閾値Hの識別器3-11の識別結果が論理0であれば、閾値Mの識別器3-13に判定を委ね、その判定結果を選択するように選択回路5を制御する。

【0056】なお、制御回路4における以上の判定は、排他的論理和回路により実現することができる。

【0057】(第10の実施形態)図10は、本発明の第10の実施形態を示す。第2の実施形態や第3の実施形態では、受信した光信号を複数系列に分配し、光増幅器や受光回路の雑音の影響も含めて識別判定する構成であったが、本実施形態では送信側から複数の光伝送路に並列送信した信号を受信する構成に適用するものである。すなわち、ダイバーシチ受信装置の新たな選択論理を提供するものである。ただし、本発明ではビット単位の多数決論理により、最適の閾値の識別器を選択してその識別結果を採用するものである。

【0058】図において、複数の光伝送路から受信する光信号は、それぞれ対応する光増幅器11-1, 11-2を介して受光回路1-1, 1-2に入力される。それ以降の構成は、第2の実施形態や第3の実施形態と同様であるが、異なる光伝送路で異なる遅延を受けた信号を識別することになるので、その同期をとるための遅延回路16-1, 16-2が設けられる。

【0059】本実施形態では、複数の光伝送路の光は独立であり、光伝送路中のすべての光中継器から受ける雑音は、伝送路間で相関のないランダム雑音になることを利用している。これにより、2つの光伝送路に対応する光信号を異なる閾値の識別器で識別して「多数決論理」で1つを選択することにより、光中継器からの雑音によるビット誤りも訂正することが可能となる。

14

【0060】なお、識別器の構成およびその選択論理について、第5の実施形態や第6の実施形態の構成をとるよりもよい。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のデジタル伝送システムは、伝送信号のビットレートを上昇させることなく効果的に誤り訂正を行うことができる。また、誤り率が低くなる閾値を選択する構成であるので、フェージングなどの劣化にも最適な閾値を継続して選択し、効果的に誤り訂正を行うことができる。

【0062】さらに、フィードフォワード構成によりビットごとの瞬時の閾値を選択することができる、信号受信当初から誤り訂正が可能であるとともに、ビットごとの相関のないランダム誤りに効果的に対処することができる。

【0063】また、本発明は伝送路および中継器の雑音による信号誤りに対しても効果的に誤り訂正を行うことができる。

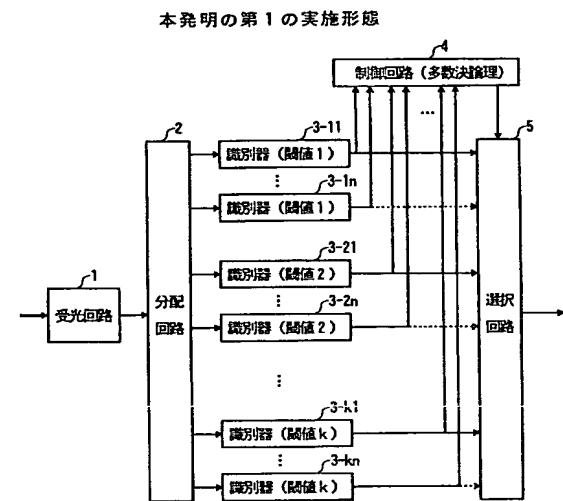
【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明の第1の実施形態を示す図。
 【図2】第1の実施形態による誤り率特性を示す図。
 【図3】本発明の第2の実施形態を示す図。
 【図4】本発明の第3の実施形態を示す図。
 【図5】本発明の第4の実施形態を示す図。
 【図6】本発明の第6の実施形態を示す図。
 【図7】本発明の第7の実施形態を示す図。
 【図8】本発明の第8の実施形態を示す図。
 【図9】本発明の第9の実施形態を示す図。
 【図10】本発明の第10の実施形態を示す図。

30 【符号の説明】

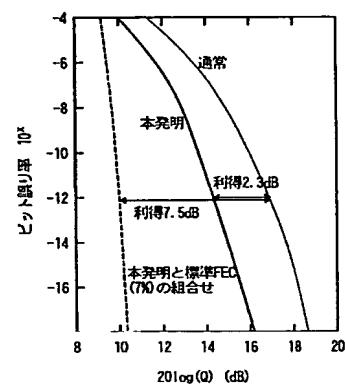
1 受光回路
 2 分配回路
 3 識別器
 4 制御回路
 5 選択回路
 11 光増幅器
 12 光分配回路
 13 光周波数変換回路
 14 光分波器
 40 15 固定電圧発生回路
 16 遅延回路
 21 2モード光パルス発生回路
 22 光変調器
 23 光増幅器
 24 2偏波モード光発生回路
 25 光偏波分離器
 26 光発生回路
 27 光サイドバンド分離器

【図1】



【図2】

第1の実施形態による誤り率特性

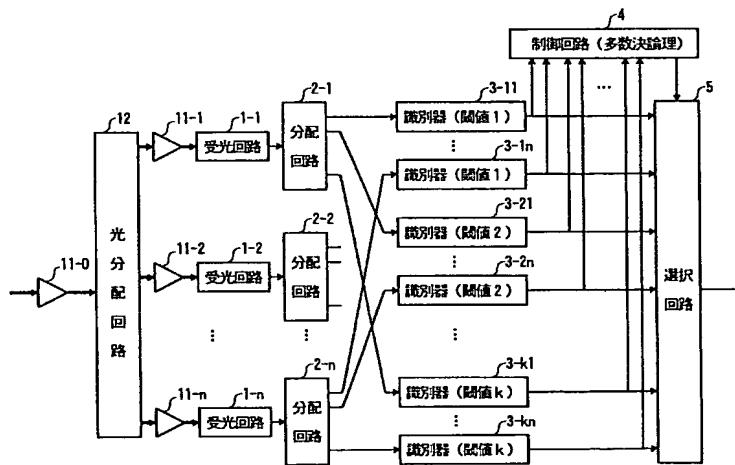


	識別器 1	識別器 2	識別器 3
閾値 1	1	1	1
閾値 2	1	1	1
閾値 3	1	1	1
閾値 4	1	0	1
閾値 5	0	0	0

この中の1つを選択

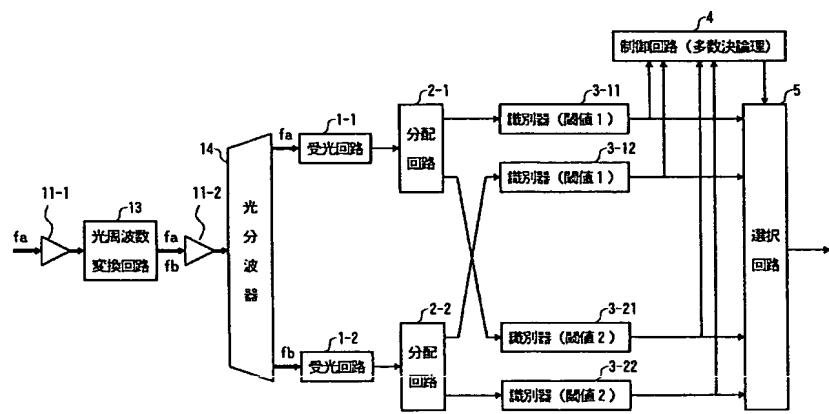
【図3】

本発明の第2の実施形態



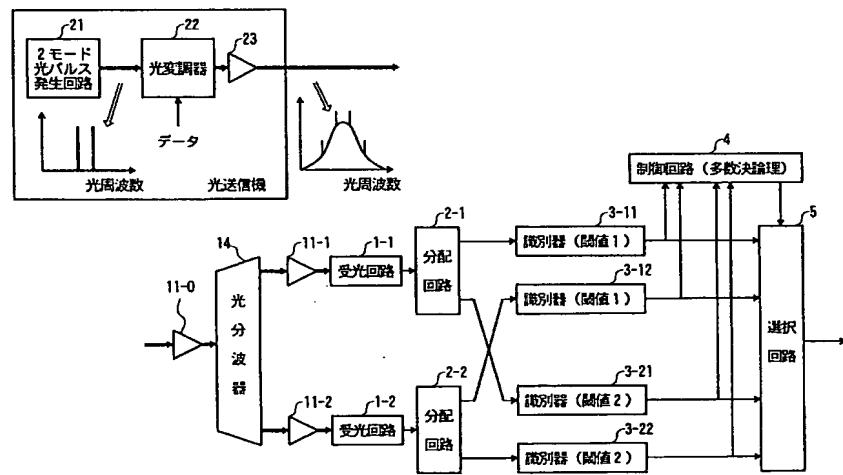
【図4】

本発明の第3の実施形態



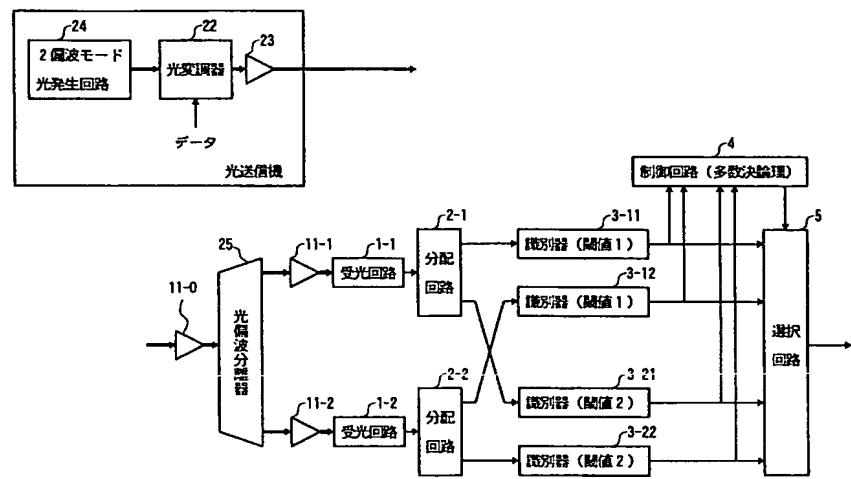
【図5】

本発明の第4の実施形態



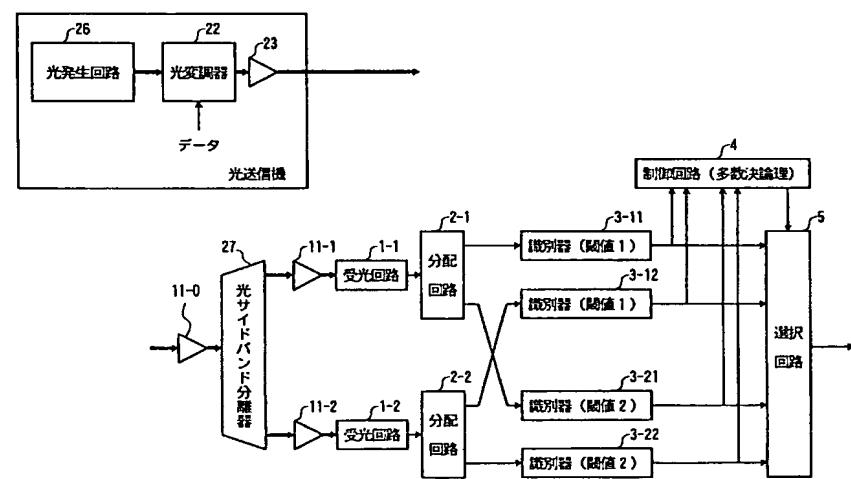
【図6】

本発明の第6の実施形態



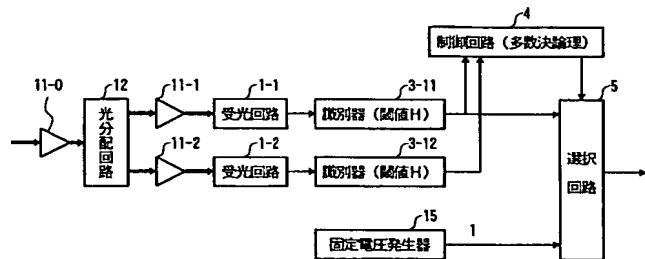
【図7】

本発明の第7の実施形態



【図8】

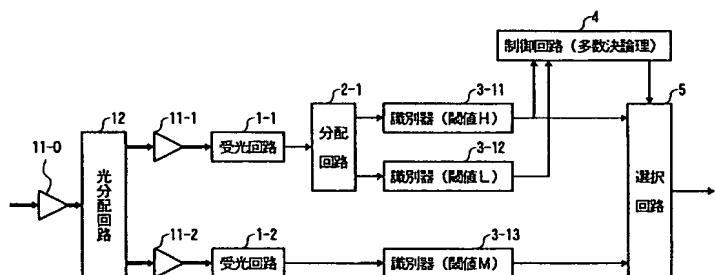
本発明の第8の実施形態



受信信号	閾値H	閾値H	「1」発生器15
1	1	1	①
1	1	0	①
1	0	1	①
0	①	0	1

【図9】

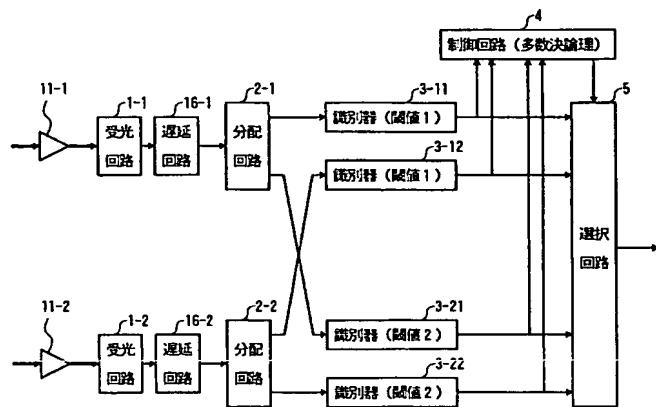
本発明の第9の実施形態



受信信号	閾値H	閾値L	閾値M
1	①	1	
1	0	1	①/②
0	0	1	①/②
0	①	0	

【図10】

本発明の第10の実施形態



フロントページの続き

(72)発明者 木坂 由明

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 宮本 裕

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 5J065 AA01 AB01 AC02 AH09 AH13

5K102 AA01 AA69 AD01 AD15 AH05

AH22 KA01 KA28 KA39 MA02

MB13 MB14 MB15 MC30 PH22

PH47 PH49 RB04 RD01 RD02